



TITLE:

可展面の幾何学特性を用いた曲面
構造の形状最適化(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

崔, 京蘭

CITATION:

崔, 京蘭. 可展面の幾何学特性を用いた曲面構造の形状最適化. 京都大学
, 2019, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2019-03-25

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21731>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	崔 京蘭
論文題目	Shape optimization of curved surface structure using geometric characteristics of developable surface (可展面の幾何学特性を用いた曲面構造の形状最適化)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、大空間を覆う建築に用いられるシェル構造と膜構造の構造設計において、平面から曲げ変形のみによって形成できる可展面の特性を利用して、優れた力学性能と施工性を有する形状を、最適化手法を用いて見出す方法を提案したものであり、6章からなっている。各章の要旨は以下のとおりである。</p> <p>第1章は序論であり、シェル構造や膜構造の構造設計における形状最適化の役割について概観し現状の研究の問題点をまとめている。また、建築設計の初期段階における意匠設計と構造設計の協調の重要性について、最適化の観点から議論し、複雑な形状を有する自由曲面シェルの施工コストを考慮して構造性能を最適化するための線織面や可展面の利用についての概要を述べるとともに、本論の構成を示している。</p> <p>第2章では、第3章以降で展開する手法の基礎となる空間曲線の理論と、曲面の基本形式、ガウス曲率、平均曲率などの特性量の基礎理論を概説し、直線形状の母線を曲線形状の導線に沿って移動して形成される線織面のなかでガウス曲率が0である曲面として定義される可展面と、平均曲率が0となる曲面である極小曲面の性質を述べている。また、ベジエ曲線・曲面およびB-スプライン曲面などのパラメトリック曲面の基礎式を解説し、1次とn次のベジエ曲線の積として定義される(1,n)-ベジエ曲面で可展面を表現する方法を述べている。さらに、接線の連続性を保ったG1接続によるベジエ曲線の接続と、曲面の法線の定義などを説明している。</p> <p>第3章では、自由曲面シェル構造の形状を複数の可展面を接続してモデル化し、有限要素解析と最適化手法によって力学特性を最適化する手法を提案している。可展面を(1,n)-ベジエ曲面でモデル化し、ベジエ曲面の制御点座標で表現される可展条件を直接用いるのではなく、曲面上の3n-2個の点で可展条件を数値的に満たすことによって可展面を生成する方法を提案している。この方法により、ベジエ曲線の次数に関わらず、複雑な式展開を行わずに可展面を生成することが可能となった。また、複数の可展面を、座標値の連続性で定義されるG0連続と、曲面の法線の連続性で定義されるG1連続条件のいずれかの条件を用いて導線方向に接続し、母線方向にはG0接続とすることにより、複雑な曲面を高精度で近似できる組合せ可展面を得る方法を提案している。この方法の応用例として、可展面を接続してモデル化されたコンクリートシェルを対象とし、ベジエ曲面の制御点を変数として、自重と水平荷重が作用したときの最大引張主応力を最小化する最適化問題を有限要素解析と非線形計画法を用いて解いている。可展面を用いることにより、施工時の型枠の作成が容易になり、力学性能と施工性に優れたシェル形状の実現が可能となった。また、複雑な曲面において可展条件を満たすような制御点座標の範囲を定めることが困難な場合、有限要素解析を行わず許容解の有無を判別できる手法を提案している。</p> <p>第4章では、骨組で支持された膜構造物を対象として、曲面形状の膜を平面裁断図から生成することにもなう目標曲面からの形状誤差と、理想的な等張力状態からの応力の誤差のトレードオフを考慮した裁断図設計法を提案している。まず、平面から曲げ変形のみによって形成できる可展面と、等張力状態を実現でき平均曲率が0である極小曲面のそれぞれを目標形状として裁断図を生成し、その結果に基づき、可展条件の誤差の2乗和と平均曲率の2乗和を目的関数とした多目的最適化問題を定式化し、可展面と極小曲面の中間的な曲面を目標形状とする新しい設計法を提案している。具体的には、可展条件の誤差の2乗和を目的関数とし、平均曲率の2乗和を制約することによ</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	崔 京蘭
<p>って、多目的最適化問題を制約法に基づいて解いている。また、曲面を分割する三角形と平面裁断膜を分割する三角形の辺長の誤差を最小化する最適化問題を解いて、さらに、目標応力に対応するひずみを除去することによって、目標曲面形状を近似的に実現する裁断図形状を求めている。その際、除去するひずみの修正係数を導入してその値を試行錯誤的に求めることによって、目標応力からの誤差を低減できることを示すとともに、可展面と等張力曲面の中間的な形状の曲面を目標曲面とすることにより、最も等張力に近い応力分布を実現できることを明らかにしている。本手法は、等張力を実現できる曲面を目標曲面とする従来の手法とは異なり、可展面の幾何学特性を導入した新しい手法である。</p> <p>第5章では、多数の可展面をシステムティックに接合して、複雑な屋根曲面やファサードを設計するための最適化手法を提案している。まず、意匠設計者によって指定される形状をB-スプライン曲面でモデル化し、静的荷重に対するひずみエネルギーを最小化して目標曲面形状を決定する。この曲面と可展面を組合せた曲面の形状誤差を最小化することにより、目標曲面を近似する組合せ可展面を求めて、静的荷重が作用したときのひずみエネルギーを最小化することによって、力学性能と施工性能に優れた複雑な曲面を生成する手法を提案している。また、その手法は、可展面を逐次追加して形状を最適化するため、多くの可展面を接続した複雑な曲面にも適用することができる。提案した手法の適用例として、複雑な形状を有するファサードを最適化して、力学性能と施工性に優れた形状を生成できることを示している。</p> <p>第6章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文では、平面から曲げ変形のみによって生成できる曲面である可展面の幾何学特性を利用して、力学性能に加えて施工性も考慮した自由曲面構造の形状生成法と最適化手法を提案している。以下、その内容と得られた結果を記す。

(1) 曲面を 1 次と n 次のベジエ曲線の積として定義される $(1, n)$ -ベジエ曲面でモデル化し、可展条件を数値的に満たすことによって可展面を生成する方法を提案した。また、複数の可展面を曲面の連続条件と曲面の法線の連続条件の 2 種類の条件を用いて接続し、複雑な曲面を組合せ可展面で近似するための手法を提案した。

(2) 組合せ可展面でモデル化されたコンクリートシェルに対し、自重と水平荷重が作用した際の最大引張主応力を最小化する問題を定式化し、ベジエ曲面の制御点を変数として最適化する方法を提案した。その結果、施工時の型枠の作成が容易になり、力学性能と施工性に優れた曲面を生成することが可能となった。

(3) 骨組で支持された膜構造を対象として、曲面形状の膜が平面裁断図から生成されることと、等張力状態を目標とすることのトレードオフを考慮して、目標曲面とそれを実現するための裁断図形状を設計するための方法を提案した。まず、平面から形成できる可展面と、等張力状態を実現できる極小曲面のそれぞれを目標曲面として裁断図を生成する。その結果を用いて多目的最適化問題を定式化し、可展面と極小曲面の中間的な曲面を目標曲面とする新しい設計法を提案した。

(4) 多数の可展面をシステムティックに接合して、複雑な屋根曲面やファサードを設計するための最適化手法を提案した。まず、意匠設計者によって指定される形状を B-スプライン曲面でモデル化し、静的荷重に対するひずみエネルギーを最小化して目標曲面を決定する。この曲面を組合せ可展面で近似して、力学性能を考慮して最適化することによって、力学性能と施工性に優れた複雑な形状を有する曲面を生成することが可能となった。

本論文は、建築の大スパンを覆うためのシェル構造と膜構造の構造設計において、可展面の幾何学特性を利用して、優れた力学性能と施工性を有する形状を、最適化手法を用いて見出す方法を提案したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 31 年 1 月 23 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

[ここに入力]